

## **T0002 - MilliNewton**

### **Erreurs dues à l'orientation et aux forces latérales**

*Influence de l'orientation d'application de la force et de forces latérales sur le signal de sortie des capteurs MilliNewton.*

Thomas Maeder, 21.4.2004

#### ***Table des matières***

<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>2</b>
1.1. INCLINAISON FORCE - CAPTEUR .....	3
1.2. SUPERPOSITION DE FORCES PARASITES HORIZONTALES .....	4
<b>2. EXPERIENCES .....</b>	<b>4</b>
<b>3. RESULTATS .....</b>	<b>5</b>
<b>4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....</b>	<b>7</b>
4.1. DIMINUER LES FORCES LATERALES DUES AU FROTTEMENT .....	7
4.2. REDUIRE LA SENSIBILITE AUX FORCES LATERALES .....	8

#### ***Résumé***

Le capteur de force MilliNewton est sensible aux forces latérales, dans le sens longitudinal à la poutre. Le degré de sensibilité du capteur à ces forces dépend essentiellement de la taille de la bille et de la longueur de la poutre.

En revanche, la sensibilité aux forces latérales perpendiculaires à la poutre est très faible.

## 1. Introduction

Les forces latérales sur la bille, dues à une erreur d'orientation ou à des frottements sur la bille, introduisent des moments parasites sur la poutre de mesure des capteurs de force ou de déplacement de type MilliNewton (fig. 1–1).

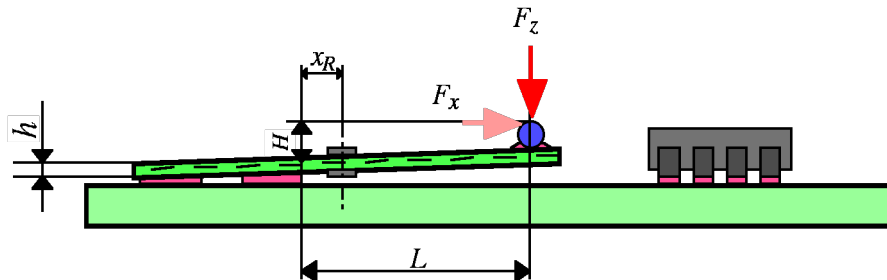


Fig. 1–1. Schéma d'un capteur de force à poutre en flexion. Une force  $F_y$  peut aussi être appliquée perpendiculairement au plan du dessin.

La mesure de la force passant via une mesure de moment de flexion, il est évident qu'une force latérale  $F_x$ , le long de la poutre, va influencer la mesure.

Expérimentalement, il est plus simple de modifier l'angle d'inclinaison entre la force et le capteur (fig. 1–2a) que de superposer deux forces (fig. 1–2b). Ces deux cas donnent cependant des résultats légèrement différents, en raison du décalage du point d'application de la force obtenu en inclinant le capteur. Dans ce cas (fig. 1–2a), on peut cependant considérer que le point d'application de la force reste fixe au centre de la bille, alors qu'il reste fixe au sommet de celle-ci en cas de superposition de deux forces (fig. 1–2b).

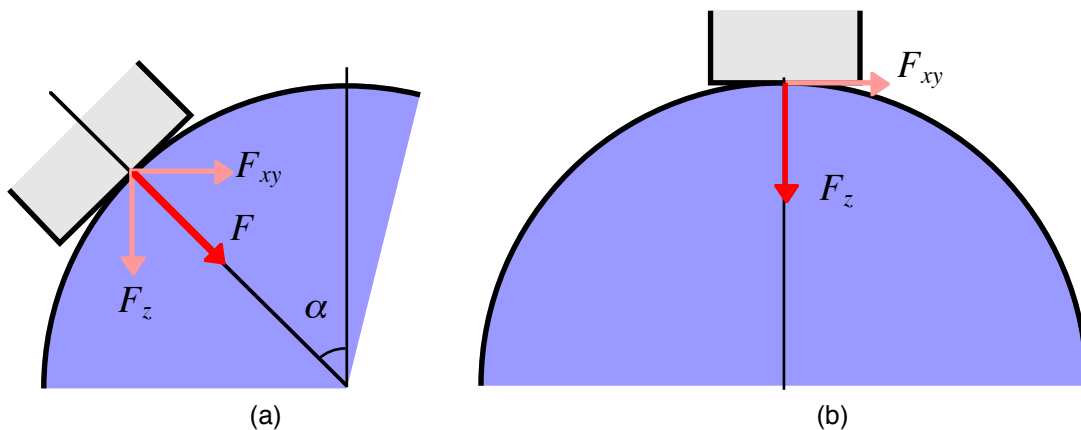


Figure 1–2. Application d'une composante horizontale  $F_x$  ou  $F_y$ , par inclinaison de la force appliquée (a) ou par superposition d'une force parasite, due par exemple au frottement (b). Dans le cas (a), le point d'application de la force se décale, mais reste effectivement au centre de la bille.

Dans ce qui suit, les axes sont définis comme suit.

- L'axe x est situé dans le plan du capteur, le long de la poutre.
- L'axe y est situé dans le plan du capteur, perpendiculairement à la poutre.
- L'axe z est perpendiculaire au plan du capteur, dans la direction nominale d'application de la force.

### 1.1. Inclinaison force - capteur

Dans ce cas, on a un point d'application de la force fixe "virtuel" situé au centre de la bille. Si l'inclinaison est dans la direction de la poutre (angle  $\alpha$ , fig. 1–3a), la variation de la réponse  $\Delta s$  du capteur est asymétrique, en raison du moment de flexion exercé sur la poutre par la composante horizontale de la force.

$$\Delta s_{\alpha} = \Delta s_z \cdot (\cos \alpha + k_{\alpha} \cdot \sin \alpha)$$

$$k_{\alpha} \cong \frac{\frac{1}{2}h + h_j + \frac{1}{2}D}{L - x_R}$$

$\Delta s_{\alpha}$	réponse du capteur pour une inclinaison $\alpha$
$\Delta s_z$	réponse du capteur pour une inclinaison nulle
$\alpha$	inclinaison dans la direction longitudinale à la poutre
$k_{\alpha}$	facteur de sensibilité à la composante parasite de la force, générée dans la direction longitudinale à la poutre
$h$	épaisseur de la poutre
$h_j$	épaisseur entre poutre et bille (conducteur + brasure)
$D$	diamètre de la bille
$L$	longueur effective de la poutre
$x_R$	position des résistances (fig. 1–1)

Si l'inclinaison de la force est dans la direction perpendiculaire à la poutre (angle  $\beta$ , fig. 1–3b), la composante horizontale n'exerce sur la poutre qu'un moment de torsion, ne générant idéalement pas de signal (en pratique, il peut subsister un faible effet résiduel dû aux imperfections de fabrication). Idéalement, la réponse n'est donc générée que par la composante selon z de la force.

$$\Delta s_{\beta} = \Delta s_z \cdot \cos \beta$$

$\Delta s_{\beta}$	réponse du capteur pour une inclinaison $\beta$
$\beta$	inclinaison dans la direction transverse à la poutre

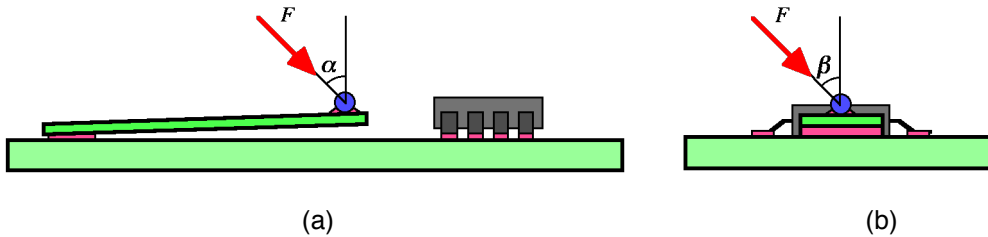


Figure 1–3. Inclinaison de la force par rapport au capteur, dans le sens longitudinal (a) à la poutre, ou dans le sens transverse (b).

## 1.2. Superposition de forces parasites horizontales

Dans ce cas, le point d'application des forces reste au sommet de la bille. Ce cas est couramment rencontré dans l'utilisation des capteurs de force, par apparition de forces de frottement sur la bille.

En plus de la force appliquée  $F_z$ , on a donc des composantes parasites  $F_x$  et  $F_y$ . A l'instar du cas précédent (inclinaison), seule  $F_x$  a une influence importante sur la réponse du capteur.

$$\Delta s_{xy} = \Delta s_z \cdot \left( k_x \cdot \frac{F_x}{F_z} + k_y \cdot \frac{F_y}{F_z} \right)$$

$$k_x \cong \frac{\frac{1}{2}h + h_j + D}{L - x_R} \text{ et } k_y \cong 0$$

$\Delta s_{xy}$	réponse du capteur aux forces parasites
$\Delta s_z$	réponse du capteur en l'absence de forces parasites
$F_x, F_y$	forces parasites longitudinale & transverse à la poutre
$k_x, k_y$	facteurs de sensibilité aux forces parasites
$h$	épaisseur de la poutre
$h_j$	épaisseur entre poutre et bille (conducteur + brasure)
$D$	diamètre effectif de la bille
$L$	longueur effective de la poutre
$x_R$	position des résistances

Les coefficients  $k_x$  et  $k_y$  ne diffèrent que par la prise en compte du diamètre de la bille ( $D/2$  ou  $D$ ).

## 2. Expériences

Les expériences sont toutes du type inclinaison, plus facile à réaliser que la superposition. Trois capteurs ont été étudiés : un prototype (no 5110) avec une bille de 2 mm, et deux (nos 6234 et 6237) standard, avec une bille de 1 mm. Leurs paramètres sont donnés au tableau 2-I. On attend du capteur no 5110 une sensibilité aux forces parasites beaucoup plus importante que celle des autres capteurs, en raison du diamètre plus important de la bille et de la position des résistances de jauge plus proche de la bille.

No capteur		5110	6234 & 6237
Version		prototype	actuelle
Épaisseur de la poutre	$h$	0.25 mm	0.25 mm
Épaisseur supposée entre poutre et bille	$h_j$	0.02 mm	0.02 mm
Diamètre de la bille	$D$	2.00 mm	1.00 mm
Longueur effective de la poutre	$L$	8.0 mm	8.0 mm
Position (moyenne) des résistances de jauge	$x_R$	3.0 mm	2.0 mm
Sensibilité calculée aux forces parasites (inclinaison)	$k_a$	0.23	0.11
Sensibilité calculée aux forces parasites (superposition)	$k_x$	0.43	0.19

Tableau 2-I. Paramètres des capteurs étudiés.

Les mesures ont été réalisées en suspendant un poids calibré de 400 mN au bras du capteur. Le capteur, alimenté à  $5.0 \pm 0.1$  V, est incliné en ajoutant des cales sous son support.

### 3. Résultats

Les réponses relatives (divisées par les réponses en l'absence d'inclinaison) sont données, en fonction des deux angles d'inclinaison  $\alpha$  et  $\beta$ , aux figures 3-1 à 3-3, où elles sont comparées aux réponses obtenues par calcul à partir des paramètres indiqués au tableau 2-I.

On obtient un excellent accord entre les réponses mesurées et celles prédites à partir des paramètres des capteurs, ce qui valide les calculs effectués.

Ces résultats démontrent aussi la nécessité de minimiser la hauteur de l'élément de centrage de force, ce qui diminue le moment exercé par les forces latérales.

Finalement, la supposition que les forces latérales perpendiculaires à la poutre ne génèrent pas de réponse notable est aussi confirmée.

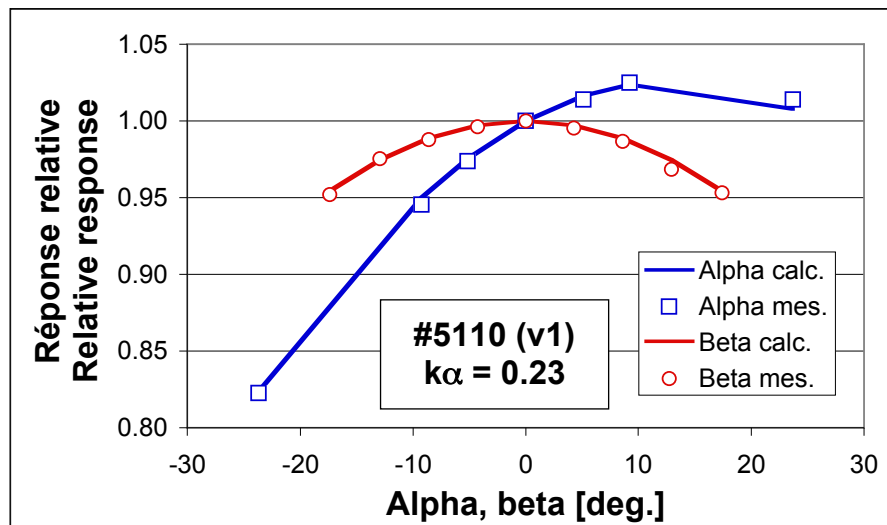


Figure 3-1. Réponse relative du capteur no 5110 en fonction de l'inclinaison, mesurée et calculée.

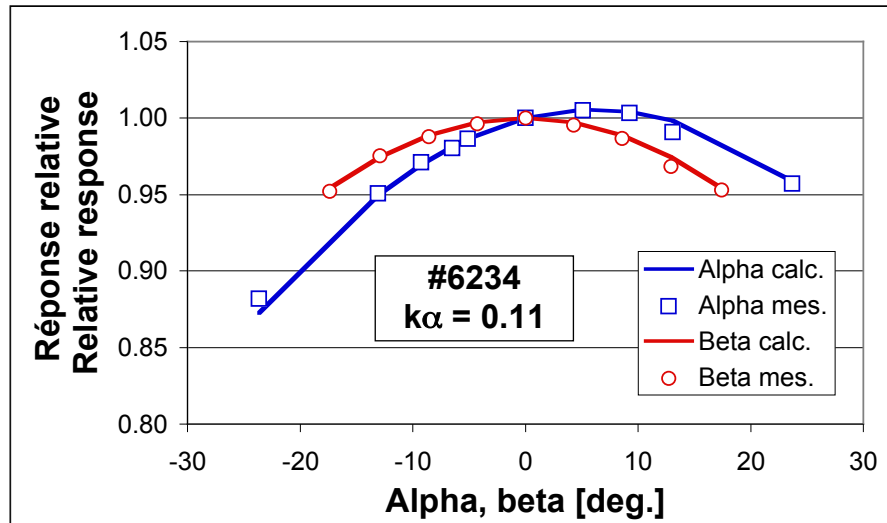


Figure 3–2. Réponse relative du capteur no 6234 en fonction de l'inclinaison, mesurée et calculée..

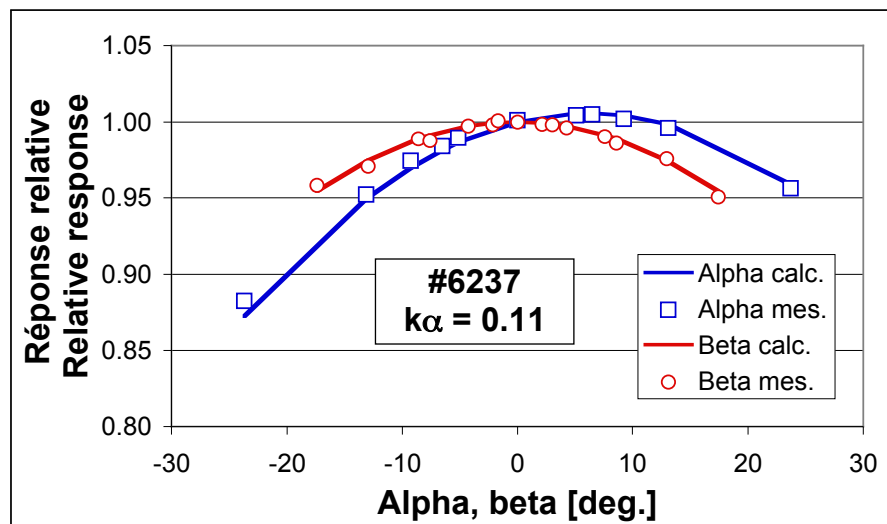


Figure 3–3. Réponse relative du capteur no 6237 en fonction de l'inclinaison, mesurée et calculée..

## 4. Conclusions et recommandations

Les capteurs de force à cantilever simple sont sensibles aux forces latérales. Cependant, une bonne compréhension de cette sensibilité et des mesures constructives adéquates permettent de minimiser les erreurs.

### 4.1. Diminuer les forces latérales dues au frottement

Une diminution des forces latérales entraîne une amélioration de la précision. Des forces latérales peuvent facilement apparaître par simple frottement si l'on ne prend pas de mesures pour les limiter, comme par exemple sur le schéma à la fig. 4–1.

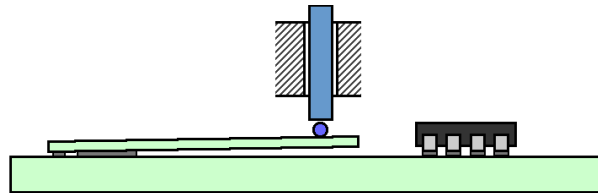


Figure 4–1. Conception entraînant une force de frottement latérale.

L'effet maximal dû au frottement est donné par la relation ci-dessous, pour un frottement allant dans le sens de la poutre.

$$|\Delta s_f| \leq \mu \cdot k_x \cdot \Delta s_z$$

$\Delta s_f$	erreur due au frottement
$\Delta s_z$	réponse du capteur en l'absence de frottement
$k_x$	facteur de sensibilité parallèle à la poutre
$\mu$	coefficient de frottement

Pour un coefficient de frottement raisonnable  $\mu = 0.2$  et la sensibilité  $k_x = 0.19$  de MilliNewton A, l'erreur maximale induite est environ  $\pm 4\%$  de la mesure, ce qui entraîne une mauvaise répétabilité. On doit donc essayer de réduire le coefficient de frottement et/ou la rigidité latérale de la pièce en contact avec le capteur. La fig. 4–2 montre une conception améliorée par rapport à la variante de base à la fig. 4–1.

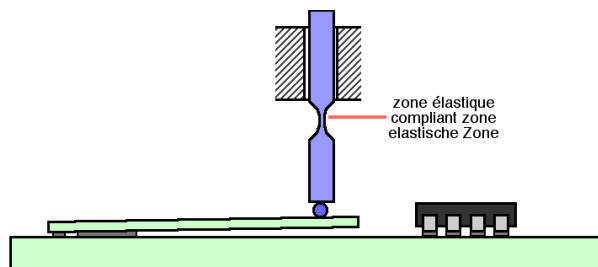


Figure 4–2. Conception améliorée pour diminuer les forces latérales.

## 4.2. Réduire la sensibilité aux forces latérales

Comme le montrent les résultats, la sensibilité aux forces latérales est très différente suivant que la direction de sollicitation est perpendiculaire (fig. 4–3, gauche) ou parallèle (fig. 4–3, droite) à la poutre. Si la direction des forces latérales est connue, il faut donc systématiquement orienter le capteur de sorte qu'elles agissent perpendiculairement à la poutre.

### Note importante

Les forces latérales doivent en tout cas être inférieures à 0.5 N, afin d'éviter l'arrachage de la bille.

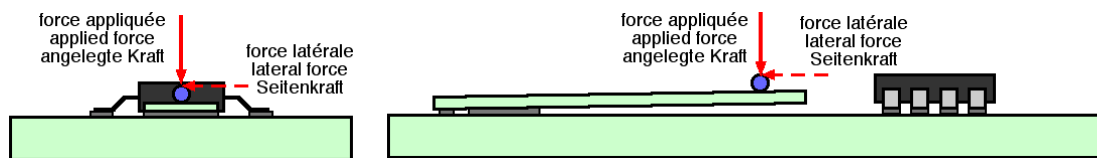


Figure 4–3. Orientation du capteur par rapport aux forces latérales.  
Gauche : favorable ; droite : défavorable.